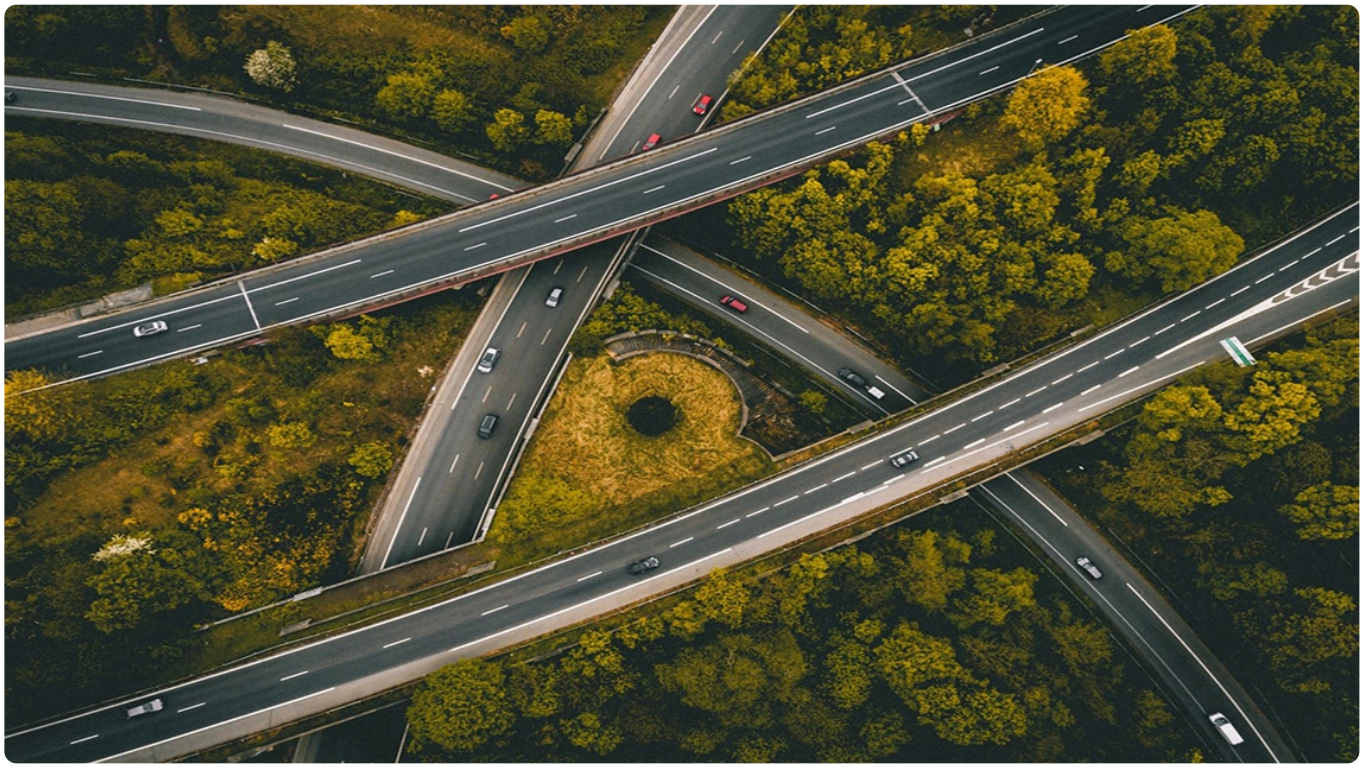
下载APP

20｜复制（二）：多主复制的多主副本同时修改了怎么办？

2022-03-18 陈现麟

《深入浅出分布式技术原理》 课程介绍 >



讲述：张浩

时长 13:37　大小 12.47M

你好，我是陈现麟。

通过上节课的学习，我们掌握了主从复制中，同步复制和异步复制的原理与知识，这样我们就可以根据业务场景，为极客时间后端的缓存系统 Redis 、关系数据库 MySQL 和 PostgreSQL 选择合适的数据复制方式，确保存储系统的高可用了。

但是，随着极客时间业务的快速发展，我们对产品的可用性和用户体验会提出更高的要求，那么在异地建立多个数据中心就是一个不错的思路，它可以让系统容忍地区性的灾害，并且用户也可以就近接入数据中心来优化网络时延。

不过，如果我们在多个数据中心之间，依然通过主从复制来同步数据，那么**所有的写请求都需要经过主副本所在的数据中心，容灾能力和网络时延的问题并没有彻底改善**，这个问

题如何解决呢？

其实通过多主复制的方式进行数据复制，就可以避免主从复制，不能发挥多数据中心优势的问题了，所以本节课，我们将通过多主复制的技术原理解决这个问题。

为什么需要多主复制

我们都知道，数据复制是指将同一份数据复制到多个机器上，来避免机器故障时数据丢失的问题，它主要是用于保障数据高可用的。可一旦我们有了多个数据副本，为了提供更好的容灾能力，数据的多个副本应该分布得足够远，分布在多个机房或者多个城市中。

接下来，我们很自然就会想到，既然数据已经分布在多个机房或者城市中了，那么是否允许用户直接读写离自己最近的数据中心的数据呢？

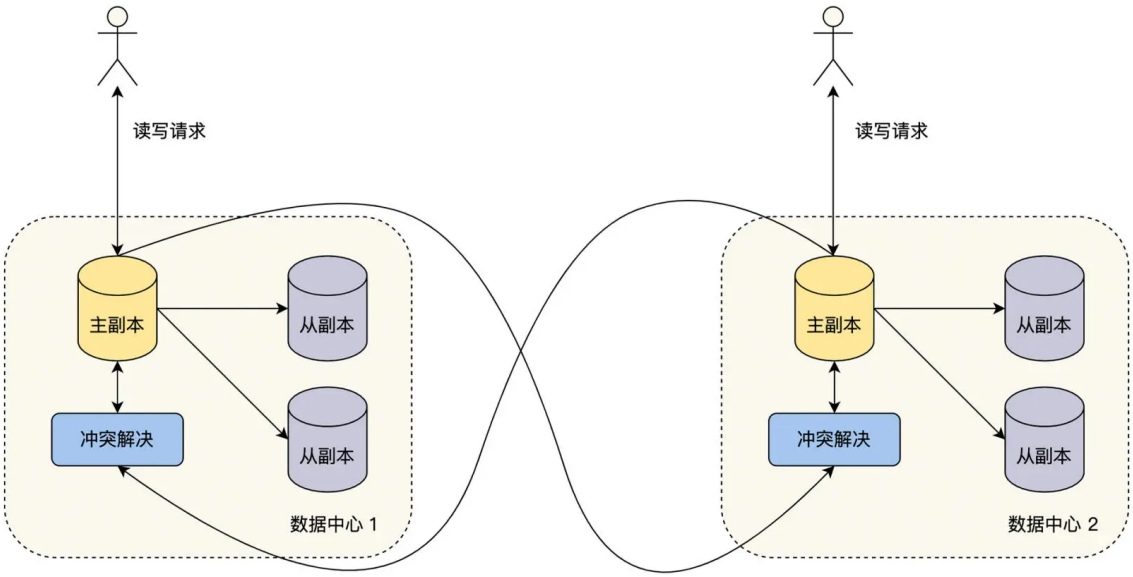
在主从复制的情况下，将多个从副本分别部署到不同的数据中心上，对于读请求来说，如果是对一致性要求不高，或者主从之间是同步复制的情况，用户可以就近读取离自己最近的数据中心副本的数据；但是对于写请求来说，由于必须通过主副本写入，就导致所有的写请求必须经过主副本所在的数据中心写入。

而多主复制和无主复制，允许多个副本写入，就可以避免上面的问题了，那么在本节课中，我们主要讨论多主复制，下节课再介绍无主复制。

其实除了上面讨论的，在多数据中心提供就近读写的应用场景之外，多主复制还有在线文档和在线日历之类的客户端本地修改场景。在这个场景中，每一个可以本地修改的客户端，都可以视为一个主副本，它们与远端服务器进行异步复制变更信息，只不过这个异步复制在离线的场景下，可能是几分钟、几天甚至更长。

如何实现多主复制

基于主从复制模式，我们来介绍一下多主复制模式。它是指在一个数据系统中，存在多个主从复制单元，每一个主从复制单元都可以处理读写请求，一个主从复制单元的主副本处理了写请求后，需要复制到其他的主从复制单元的主副本，具体的流程见下图。



极客时间

在实现多主复制的时有几个值得注意的地方，首先，每一个主从复制单元内部是一个常规的主从复制模式，这里的主副本、从副本之间的复制可以是同步的，也可以是异步的，具体的讨论可以查看第 19 讲“主从复制”。

其次，多个主从复制单元之间，每一个主副本都会将自己的修改复制到其他的主副本，主副本之间的复制可以是同步的，也可以是异步的。

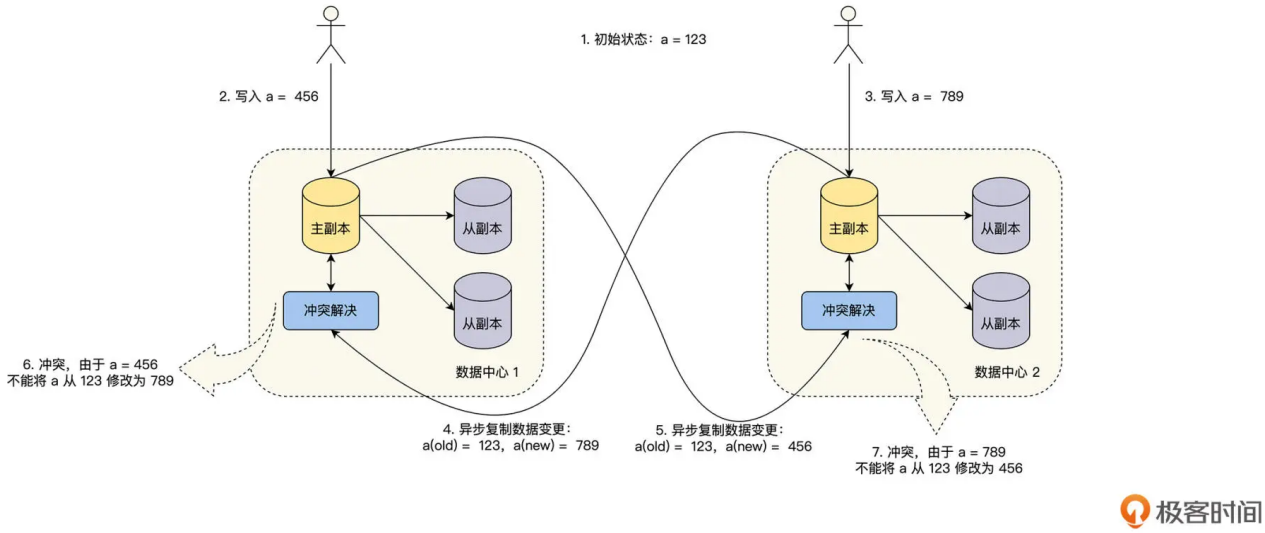
如果主副本之间的复制是同步的，那么一个主副本的写入，需要等待复制到其他的主副本成功后，才能返回给用户，这样当写入出现冲突时，可以返回失败或由用户来解决冲突。**但是，它却失去了多主复制最重要的一个优点，即多个主副本都可以独立处理写入，这就导致整个模式退化为主从复制的形式。所以一般来说，多主复制的主副本之间，大多采用异步模式**，我们本课中讨论的多主复制也都是异步模式。

如果主副本之间的复制是异步的，那么一个主副本待自己写入成功后，就立即返回给用户，然后再异步地将修改复制给其他的主副本。**这时也会出现一个问题，如果多个主副本同时成功修改一个数据，当主副本之间复制这个数据的修改时，会出现冲突，我们就不知道以哪一个主副本的写入结果为准了。**所以接下来，我们就一起讨论对于异步模式的多主复制，如何解决多个主副本写入冲突的问题。

冲突解决

写入冲突是由于多个主副本同时接受写入，并且主副本之间异步复制导致的，那么依据这个定义，我们可以推导出写入冲突的两种主要形式。

首先是由于**更新**导致的冲突，多个主副本同时更新了一个数据，导致这个数据的版本是非线性的，出现了分叉，具体见下图。



其次，由于**新增**导致的冲突，多个主副本同时新增了一个含有唯一性约束的数据，导致数据的唯一性约束被破坏。例如，在酒店预订业务中，一个时段内一个房间只能预订给一个用户，如果多个用户在多个主副本上，同时发起预订操作，就可能出现同一个时段内，一个房间被多个用户预定成功的情况。

避免冲突

基于冲突的定义，我们应该怎么解决呢？有一个很自然的思路是，既然冲突是多个主副本同时修改了一个数据，或者破坏了数据的唯一性约束导致的，那么我们就对数据进行分片，让不同的主数据负责不同的数据分片，具体分片策略可以查看“分片”系列课程。这个方式确实可以在一定程度上避免冲突，但是会出现两个问题。

首先，一个修改操作可能会修改多个分片数据，这样我们就没有办法通过分片来隔离修改了。比如，我们将修改用户余额的操作进行水平分片， ID 为 0-10 的用户在主副本 1 写入， ID 为 11-20 的用户在主副本 2 写入。当 ID 6 的用户给 ID 16 的用户转账时，如果在主副本 1 上执行，那么同一时间， ID 16 的用户在主副本 2 上也有修改时，就会出现写入冲突。

其次，由于就近接入和故障等原因，我们会将出现故障的主副本流量切换到其他的主副本，这时也会出现写入冲突的情况。我们继续按刚才的例子分析，ID 为 0-10 的用户在主副本 1 写入，ID 为 11-20 的用户在主副本 2 写入。

假设 ID 8 的用户在主副本 1 写入成功，但是数据的变更还没有同步到主副本 2 ，这时如果 ID 8 的用户到主副本 1 的网络出现问题，我们会立即将 ID 为 0-10 的用户的写入流量切换到主副本 2 ，那么在主副本 2 上，再对 ID 8 的数据进行修改就会导致冲突发生。

写时解决冲突

对于异步模式的多主复制，写入冲突是不可避免的，那么我们可以考虑，在数据写入一个主副本后，在主副本间进行复制时，检测是否有冲突，如果有冲突，就立即解决，这种方式称为写时解决冲突。它有两种实现方式，预定义解决冲突和自定义解决冲突，下面我们来一一讨论。

预定义解决冲突，是指由存储系统预先定义好规则，在冲突发生时依据预先定义好的规则，自动来解决冲突，它的规则主要有以下几种。

一是，从操作维度来处理，最后写入获胜。也就是为每一个写操作分配一个时间戳，如果发生冲突，只保留时间戳最大的版本数据，其他的修改都丢弃，但是这个方法会导致修改丢失。

二是，从副本维度来处理，最高优先级写入获胜。也就是为每一个副本都排好优先级，如果发生冲突，只保留优先级最高的副本修改数据，其他的修改都丢弃。例如，为每一个副本分配一个 ID ， ID 越大的副本，修改的优先级就越高，在发生冲突时，只保留 ID 最大的副本数据。同样，这个方法也会导致修改丢失。

三是，从数据结构和算法的维度来处理，通过研究一些可以自动解决冲突的数据结构来解决问题。比如 Google Doc 利用“操作转换”（Operational transformation）作为协作、编辑的冲突解决算法，但是目前这种方式还不太成熟，所以应用的范围比较少。

第二种实现方式是**自定义解决冲突**，它是由业务系统来定义冲突的解决方式，如果发生冲突了，存储系统就依据业务系统定义的方式执行。

自定义冲突解决的处理逻辑是，在主副本之间复制变更日志时，如果检测到冲突，就调用用户自定义的冲突处理程序来进行处理。由于主副本之间的数据复制是异步的，所以一般都是后台执行，不会提示用户。

一般来说，正确解决冲突是需要理解业务的，因此由业务来定义解决冲突的逻辑是非常合理的，所以大多数支持多主复制的存储系统，都会以用户自定义的逻辑，来提供解决冲突的入口。

读时解决冲突

读时解决冲突的思路和写时解决冲突的思路正好相反，即在写入数据时，如果检测到冲突，不用立即进行处理，只需要将所有冲突的写入版本都记录下来。当下一次读取数据时，会将所有的数据版本都返回给业务层，在业务层解决冲突，那么读时解决冲突的方式有下面两种。

第一种方式是**由用户来解决冲突**。毕竟用户才是最知道如何处理冲突的人，业务层将冲突提示给用户，让用户来解决。

另一个方式是**自定义解决冲突**。业务层先依据业务情况，自定义好解决冲突的处理程序，当检测到冲突时，直接调用处理程序来解决，你会发现它和写时解决冲突的第二种实现方式一样，只不过一个在写入时解决冲突，一个在读取时解决冲突。

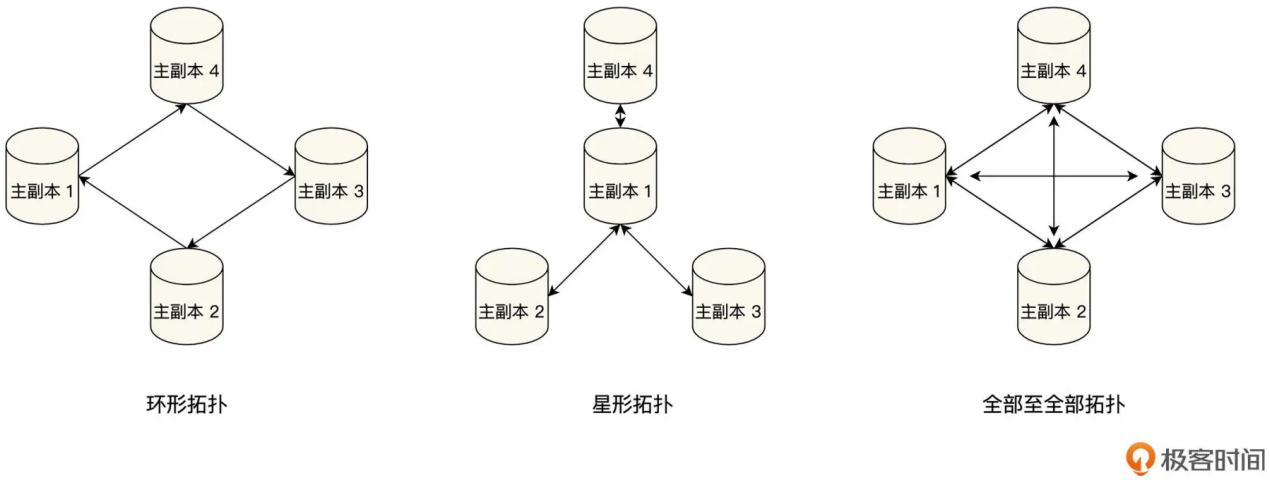
多主复制的关键问题

多主复制虽然有多个主副本独立写入的优点，但是在一致性方面，多主复制的存储系统却面临着三个关键问题。

首先，**正确解决冲突的难度非常大**。从上文讨论的复杂情况中不难看出，解决冲突是一件非常难的事情，如果解决不当，就会出现修改丢失或错误的问题。

其次，**异步模式的多主复制会存在数据一致性的问题**。为了获得多个主副本可以独立写入的优点，多主副本之间，通常是通过异步的方式来复制数据的，这就会出现读取到陈旧版本数据的问题，影响整个系统的一致性。这里要特别说明一点，在多副本之间进行数据复制，如果你期望数据强一致性，那么目前最好的方案是 Paxos 和 Raft 之类的分布式一致性算法。

最后是**多个主副本之间的复制拓扑结构问题**。一般来说，多主复制的主副本之间的复制拓扑结构主要有三种：环形拓扑、星形拓扑以及全部至全部拓扑，具体见下图：



我们从图中可以看出，采用环形拓扑和星形拓扑结构时，如果一个主副本出现故障，可能会导致其他的主副本，也不能正常复制变更，甚至整个复制拓扑都会出现中断的情况。这时我们必须修复好出问题的主副本节点，或者重新调整复制的拓扑结构，才能恢复到正常状态。一般来说，这个过程需要人工参与且不能自愈，这会进一步延迟系统的恢复时间，使系统的可用性降低，同时降低系统的一致性。

在采用全部至全部拓扑结构时，虽然一个主副本的故障，不会影响其他主副本之间的数据复制，但是却会出现一个问题，那就是由于副本之间的网络时延各不相同，会使数据复制出现乱序，更新相互覆盖，变更丢失等错误情况，也会影响系统的一致性。

总而言之，虽然异步模式的多主复制有多个主副本可以独立写入的优点，但是也会在一定程度上降低系统的一致性，**所以我们在使用时，需要评估业务特点，对一致性要求容忍度高的业务，可以使用多主复制，而对于一致性要求高的业务，则需要慎重考虑。**

总结

这节课中，我们先讨论了多主复制的优点，即在多数据中心的场景下，每个数据中心的主副本可以单独写入，提高了系统的写入性能，并且用户可以实现就近读写，降低了系统的延迟。如果你的业务要实施多数据中心部署，也可以考虑是否采用多主复制的模式。

接着，我们讨论了如何实现多主复制，这里要注意一个关键点，如果要发挥多主复制的优点，就需要采用异步模式的多主复制，但是异步模式的多主复制还会有写入冲突的情况。

关于如何解决冲突，我们讨论了避免冲突、写时解决冲突和读时解决冲突的思路，当你在实施多主复制的时候，也可以通过这些方法，解决多主复制的写入冲突问题。

最后，因为异步模式的多主复制会在一定程度上，降低系统的一致性，所以我们在使用时，需要评估业务特点，对于一致性要求高的业务，需要慎重考虑。

思考题

本课中我们讨论了通过水平分片的方式避免写入冲突时，会出现一些不能解决的问题，那么请你思考一下，通过垂直分片的方式避免写入冲突时，会出现什么问题呢？

欢迎你在留言区发表你的看法。如果这节课对你有帮助，也推荐你分享给更多的同事、朋友。

分享给需要的人，Ta订阅超级会员，你最高得 50 元

Ta单独购买本课程，你将得 20 元

生成海报并分享

赞 3　提建议

© 版权归极客邦科技所有，未经许可不得传播售卖。 页面已增加防盗追踪，如有侵权极客邦将依法追究其法律责任。

上一篇　19 | 复制（一）：主从复制从副本的数据可以读吗？

下一篇　21 | 复制（三）：最早的数据复制方式竟然是无主复制？

精选留言 (2)

写留言

wenxuan

2022-03-27

通过垂直分片的方式解决多主复制可能遇到的问题： 假设主节点 1 拥有字段 A，主节点 2 拥有字段 B。在某一时刻，主节点 A 上要对记录的两个字段进行修改 (a0, b0) => (a1, b1)，主节点 2 上也要对该记录进行修改 (a0, b0) => (a2, b2)。由于节点 1 需要把对 B 的修改转发到节点 2, 节点 2 需要把对 A 的修改转发到节点 1，A 和 B 最终至少面临 4 种可能的状态组合： (a1, b1), (a1, b2), (a2, b1), (a2, b2)，很难确定究哪一种组合是正确的。

展开

毛哥
2022-03-24

ddia